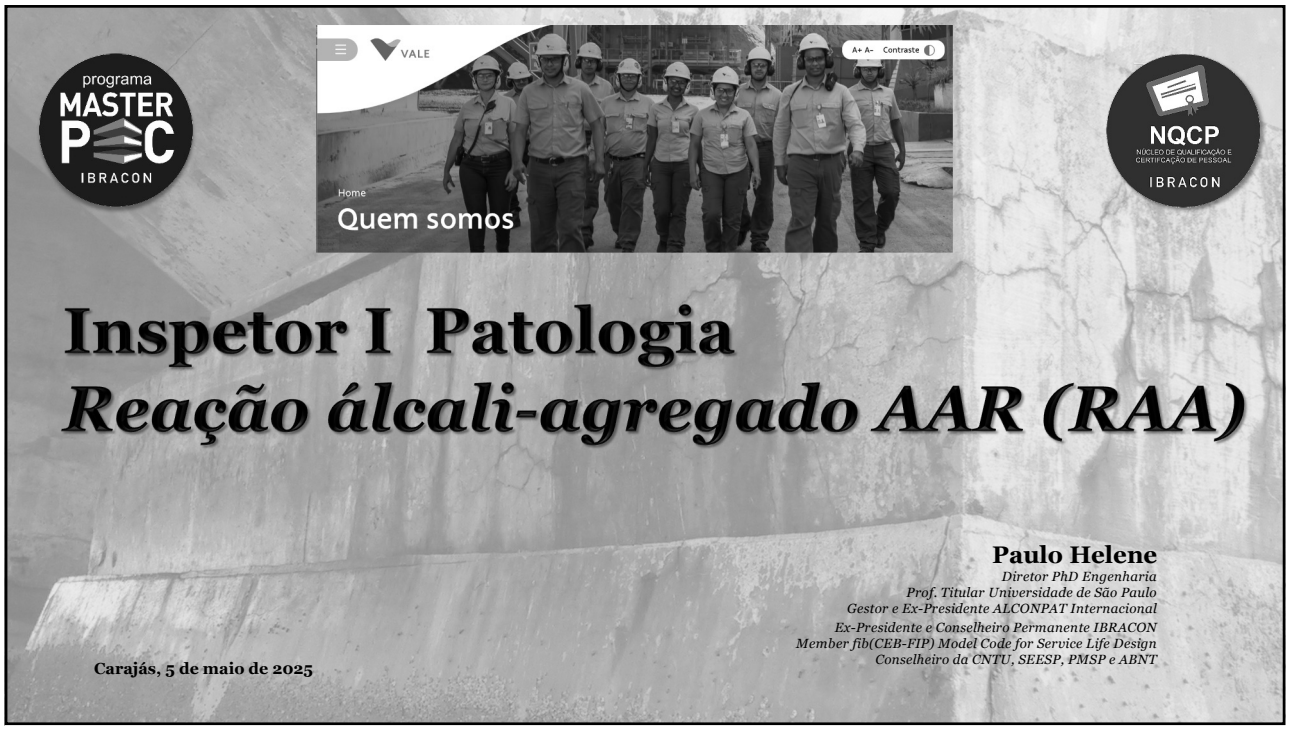


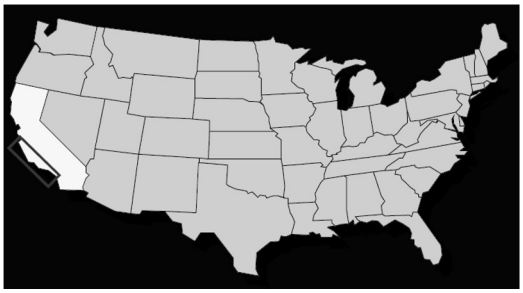
1

AAR - Histórico

✓ Foi descoberta em 1940 na Califórnia/EUA, por Thomas Stanton

(*Expansion of concrete through the reaction between cement and aggregate. Proceedings ASCE, n. 66, 1940. p. 1781-1811)*

Thomas Stanton, Caltrans - CA



Observação: esta apresentação está protegida pelas leis nacionais e internacionais de direitos autorais e de imagem. É proibida a gravação, reprodução, distribuição, prints e fotografia da tela de apresentação, sem permissão do autor. O objetivo é educacional.

2

História

✓ Foi descoberta nos anos 30 na Califórnia EUA, por Thomas Stanton. *Expansion of concrete through the reaction between cement and aggregate. Proceedings ASCE, n. 66, 1940. p. 1781-1811*

✓ Na mesma época o *USA Bureu of Reclamation* registrou a reação nas barragens Parker Dam (Colorado) e Stewart Mountain Dam, especificando $Na_2O < 0,6\%$

✓ Os primeiros estudos foram realizados nos anos 60 → Barragem de Jupiá

✓ Primeiro caso: Barragem UHE Apolonio de Sales Oliveira (Moxotó)

3

AAR – Como ocorre?

Minerais silicosos ⇩ + Hidróxidos alcalinos (Na^+, K^+, OH^-) ⇩ + Umidade ⇩

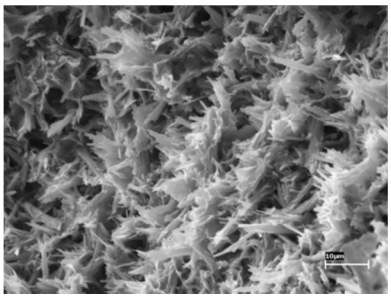
Externa/ presente nos poros*

Fonte: Prática recomendada IBRACON: Inspeção de estruturas de concreto visando avaliar manifestações da reação álcali-agregado (RAA) e etringita tardia (DEF): diagnóstico de campo e de laboratório

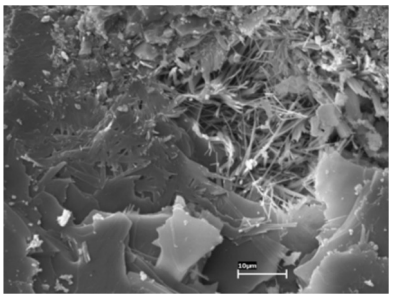
4

AAR – Como ocorre?

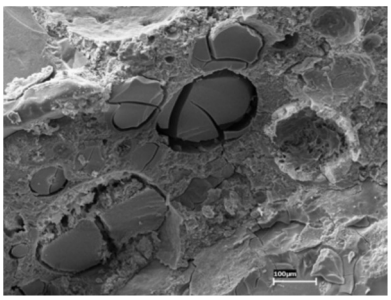
Análises Microscópicas



Cristais AAR - poro



Acículas AAR – zona de interface



Poros preenchidos com gel gretado

Fonte: Nicole Hasparyk. et al. Investigação da Reação Álcali-Agregado em Concretos de UHE's. CGTI.

5

Reação Álcali Agregado (AAR ou RAA)

O produto da reação é um gel higroscópico expansivo. A expansão, deletéria, ocorre porque o gel formado absorve água e se expande.

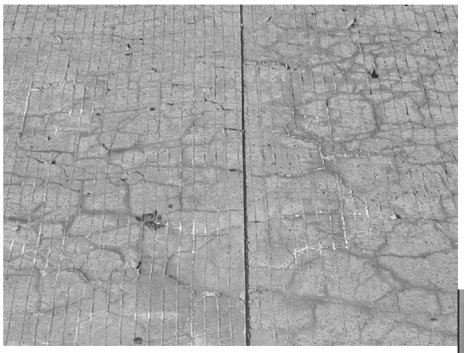
A manifestação patológica da reação álcali agregado pode se dar de várias formas, desde expansões, movimentações diferenciais nas estruturas e fissurações até desplacamentos localizados, exsudação do gel e redução do módulo de elasticidade e das resistências à tração e compressão.

Os principais fatores que influenciam sua formação são:

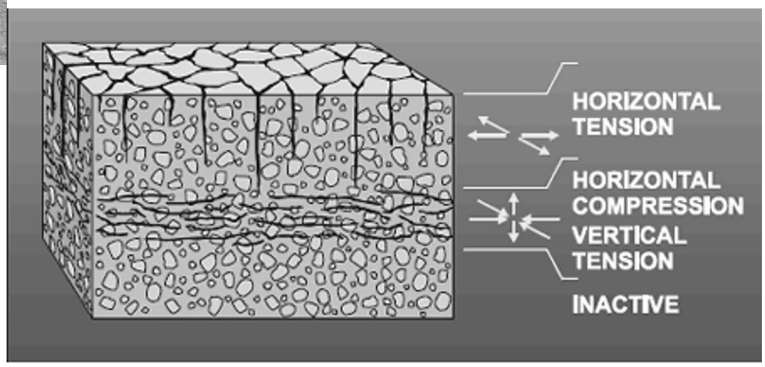
- Existência de sílica reativa
- Disponibilidade de álcalis
- Presença de umidade / água
- Temperatura

6

Sintomatologia

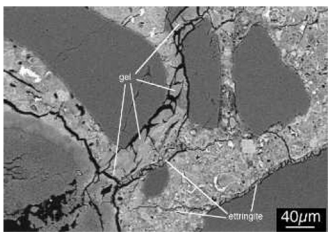


Fissuração disseminada
(mapeamento)

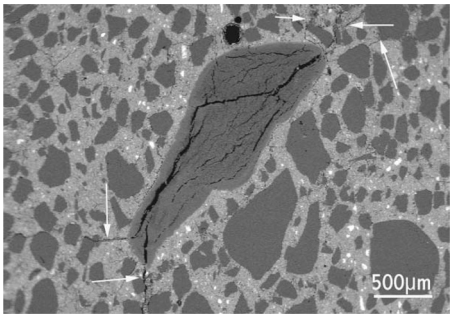


8

AAR –Aspecto Microestrutural



Formação de “gel” expansivo



9

Formação e expansão do gel

As fissurações aumentam a permeabilidade

⇩

Permite que mais água entre no concreto

⇩

Acelera a reação álcali-agregado

⇩

Torna o concreto mais vulnerável a outras manifestações patológicas

⇩

Compromete a qualidade da estrutura!

10

PONTE PAULO GUERRA 2002

concreto armado

corrosão armaduras

reação álcali agregado

Inspeção impede colapso

11

Ponte Paulo Guerra, Recife, PE

acervo de Paulo Helene

12

acervo de Paulo Helene

13

Ponte Paulo Guerra

Recife PE → 2002

inaugurada 1980 22 anos

blocos de fundação f_{ck} = 15 MPa

Tabuleiro de concreto armado

f_{ck} = 22 MPa

sobre rio, junto ao mar, fora de respingos

14

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

análise da água

pH = 7,5 Cl^- = 14.000 mg/L

Mg^{++} = 900 mg/L SO_4^{++} = 1.900 mg/L

SO_4^{++} no concreto = 0,35% a 0,62%

SO_4^{++} concreto = 0,59% p/ 3% gesso

15

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

→Cobrimento m=16mm s=2,5mm

→carbonatação < 12mm

→E_{corr} 10 to – 450 mV

→i_{corr} 0,07 to 0,31 μA/cm²

→ ultrassom 1800 to 3800 m/s

16

Ponte Paulo Guerra

Diagnóstico:

→testemunhos f_{cm} = 28 MPa

→módulo de elasticidade E_{ci} = 5 to 30 GPa

→análise petrográfica

"evidência de reação alcali agregado; nenhuma evidência de etringita secundária ou tardia"

17

acervo de Paulo Helene

18

acervo de Paulo Helene

19

acervo de Paulo Helene

20

acervo de Paulo Helene

21

acervo de Paulo Helene

22

acervo de Paulo Helene

23

Ponte Paulo Guerra

Solução:

→para corrosão → clássico

→ para os blocos de fundação com reação álcali-agregado em estado avançado:

"reforçar blocos, manter tabuleiro"

24

Ponte Paulo Guerra

alternativas

→ demolir?

→ construir outra?

→ sais de lítio?

→ confinar?

25

Ponte Paulo Guerra

"confinar
os blocos com esforço
de compressão"

> 4 MPa
Armado ou Protendido

*HELENE, P.; PEREIRA, F. & CASTRO-BORGES, P. Tests for Alkali-Aggregate Reaction. A case study of a Brazilian Bridge. Concrete International, ACI, v.27, n. 7, p.41-4, July 2005.

*FIGUEIRÔA, J. do P.; ANDRADE, T. O Ataque da Reação Álcali-agregado sobre as Estruturas de Concreto. UFPE, 2007, p. 52 e 107.

26

IMPORTANTE

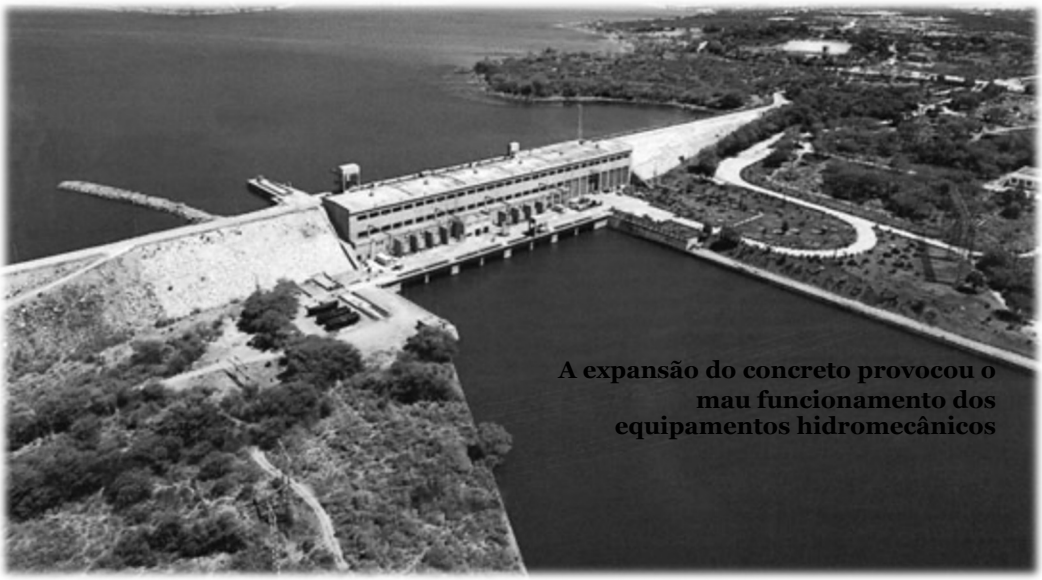
A maioria dos casos mais graves de AAR ocorrem em barragens. Entretanto, também há registros dessa manifestação em pontes, túneis, portos, ferrovias e fundações de edifícios.

No Brasil:

- Barragem de Moxotó
- Metro de São Paulo
- Barragem Joanes
- Barragem de Paulo Afonso
- Barragem de Sobradinho
- Barragem da Pedra
- Túneis da Ecovias
- Rodovia AUTOBAN
- Ampliação da Barragem de Tucuruí
- Fundações de vários edifícios
- ETAs & ETEs
- Dormentes de estradas de ferro

27

Barragem Moxotó

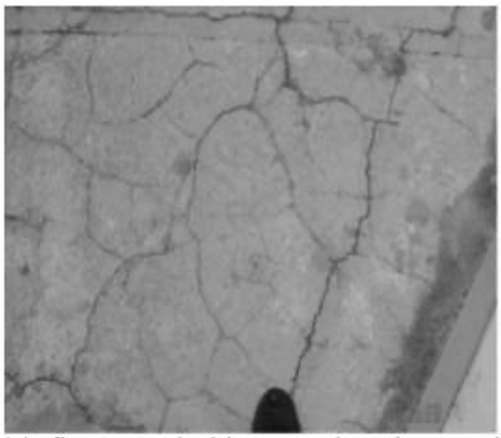


A expansão do concreto provocou o mau funcionamento dos equipamentos hidromecânicos

http://www.sbbengenharia.com.br/links/raa.php

28

Barragem Paulo Afonso



(a) fissuras primárias no piso da tomada d'água da UHE Paulo Afonso III

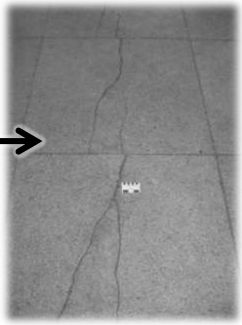
(b) fissura secundárias na guia da comporta da tomada d'água da UHE Paulo Afonso I

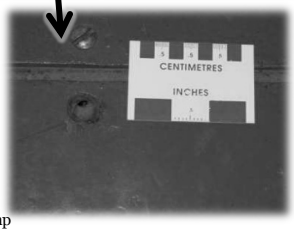
Figura 16 - Características de fissuras devidas à RAA
Fonte: SILVA (2007)

29

Barragem Paulo Afonso

Avisos da estrutura

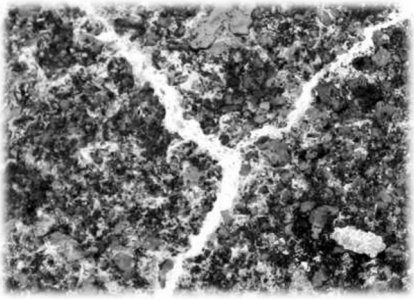




http://www.sbbengenharia.com.br/links/raa.php

30

Barragem Jaguari - SP



SALLES, Flávio M. , 2010

31

Barragem da Pedra

IEME

32

Viaduto Robert-Bourassa

Charest, Québec, Canada

SANCHES, L.; FOURNIER, B.; KUPERMAN, S., 2010

33

Inspeção e Diagnóstico

34

Métodos de Ensaio colorimétrico

ASTM C 856 → Petrographic examination of hardened concrete by microscopic examination. Short duration Specimens can be examined with stereomicroscopes, polarizing microscopes, metallographic microscopes, and scanning electron microscope

ASTM C 856 → Annex → uranyl- acetate treatment procedure to identify products of ASR in hardened concrete

Los Alamos staining method to identify products of ASR in hardened concrete. Staining of a freshly-exposed concrete surface with two different reagents. Immediate results

35

Métodos de Ensaio

- Análise visual
- Extração de testemunhos
- Módulo de elasticidade
- Análise petrográfica
- Ensaio em barras de argamassa
- Ensaio em prismas de concreto

36

Terapia

37

Terapia

- **Reduzir o acesso da água;**
- **Injeção de resinas;**
- **Confinar;**
- **Prever juntas**

38

Prevenção
Profilaxia

39

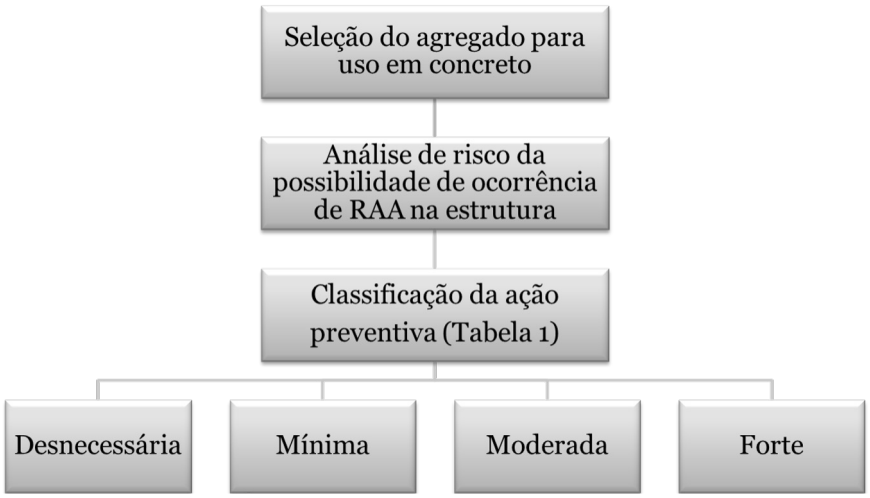
NBR 15577-1	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto
NBR 15577-2	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto
NBR 15577-3	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto

40

NBR 15577-4	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado
NBR 15577-5	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado
NBR 15577-6	Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto

41

ABNT NBR 15577



42

ABNT NBR 15577-1

Passo 5: Medidas de mitigação

Equivalente alcalino em Na_2O = 0,658 * K_2O% + Na_2O%

Grau de intensidade da medida preventiva	Opção 1	Opção 2	Opção 3
MP 0	Nenhuma ação é necessária		
MP 1	Limitar o teor de álcalis do concreto a valores menores que 2,4 kg/m³ de Na_2O equivalente.	Utilizar cimentos: • CP II-E ou CP II-Z, conforme a ABNT NBR 11578, ou • CP III, conforme a ABNT NBR 5735, ou • CP IV, conforme ABNT NBR 5736.	Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de grau de intensidade 2.
MP 2	Utilizar cimento CP III, com no mínimo 60 % de escória, conforme ABNT NBR 5735.	Utilizar cimento CP IV com no mínimo 30 % de pozolana, conforme ABNT NBR 5736.	Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de grau de intensidade 3.
MP 3	Utilizar materiais inibidores comprovando a mitigação da reatividade potencial pelo ensaio acelerado.	Utilizar materiais inibidores, comprovando a mitigação da reatividade potencial pelo ensaio de prismas de concreto aos dois anos.	Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de grau de intensidade 4.
MP 4	Utilizar materiais inibidores comprovando a mitigação da reatividade potencial pelo ensaio acelerado.	Utilizar materiais inibidores, comprovando a mitigação da reatividade potencial pelo ensaio de prismas de concreto aos dois anos.	Trocar o agregado.

47

ABNT NBR 15577-1

Passo 6: Requisitos dos materiais inibidores

Material inibidor	Requisitos da composição
Cimento Portland tipo CP II E e CPIII	Cimentos Portland com teores de escória granulada de alto-forno suficientes para mitigar as expansões de argamassas com agregados potencialmente reativos a níveis inferiores a 0,19 % aos 30 dias, quando ensaiados de acordo com a ABNT NBR 15577-5, ou menores que 0,04 % em dois anos, quando ensaiados de acordo com a ABNT NBR 15577-6.
Cimento Portland tipo CPII-Z e CPIV	Cimentos Portland com teores de materiais pozolânicos suficientes para mitigar as expansões de argamassas com agregados potencialmente reativos a níveis inferiores a 0,19 % aos 30 dias, quando ensaiados de acordo com a ABNT NBR 15577-5, ou menores que 0,04 % em dois anos, quando ensaiados de acordo com a ABNT NBR 15577-6.
Sílica ativa e metacaulim ou outros materiais pozolânicos em combinação com qualquer tipo de cimento Portland	Sílica ativa, metacaulim e materiais pozolânicos, com composição que atenda, respectivamente, às ABNT NBR 13956-1, ABNT NBR 15894-1 e ABNT NBR 12653. Os teores necessários dessas adições normalizadas devem ser suficientes para promover a mitigação das expansões a níveis inferiores a 0,19 % aos 30 dias, quando ensaiados de acordo com a ABNT NBR 15577-5, ou menores que 0,04 %, em dois anos, quando ensaiados de acordo com a ABNT NBR 15577-6.

50

ABNT NBR 15577 - Ensaios para a determinação da reatividade do agregado e da eficácia da medida de mitigação:

Parte 3 – petrografía (*expertise* do petrógrafo)
Parte 4 e 5 - método acelerado barra de argamassa (agregado e mitigação)**
Parte 6 - método de longa duração de prismas de concreto
Parte 7 - método acelerado de prisma de concreto

51

52

Resumo AAR

- **Caracterização dos agregado**
  - Análise petrográfica → presença de fases reativas
  - Ensaio acelerado das barras de argamassa
  - Ensaio de longa duração em prisma de concreto
- **Agregado potencialmente inócuo: preocupações mínimas**
- **Agregado potencialmente reativo ou não se conhece seu comportamento:**
  - Troque o agregado (se possível)
  - Adote medidas mitigadoras
    - limite o teor de álcalis
    - use cimentos mitigadores da RAA
    - use adições ativas normalizadas (sílica ativa ou metacaulim)
- **Na menor dúvida adote medidas mitigadora da RAA**

54

Como prevenir?

1. Controlando álcalis no cimento;

   Na_2O equivalente < 0,6%
   Total álcalis < 3kg/m³

2. Controlando reatividade nos agregados

   Método químico ASTM C 289 (24h)
   Análise visual ASTM C 294 (24h)
   Análise petrográfica ASTM C 295 (24h)

acervo de Paulo Helene

55

Como prevenir?

3. Controle da reatividade no concreto

Método de barras adição mineral ASTM C441 (6 meses)
Método das barras de argamassa ASTM C227 (6 meses)
Método carbonato → ASTM C586
Método álcali carbonato → ASTM C1105
Método acelerado das barras ASTM C1260 (16d e 28d)
Método dos prismas de concreto ASTM C1293 (1ano)

acervo de Paulo Helene

56

Como prevenir?

4. Uso de adições

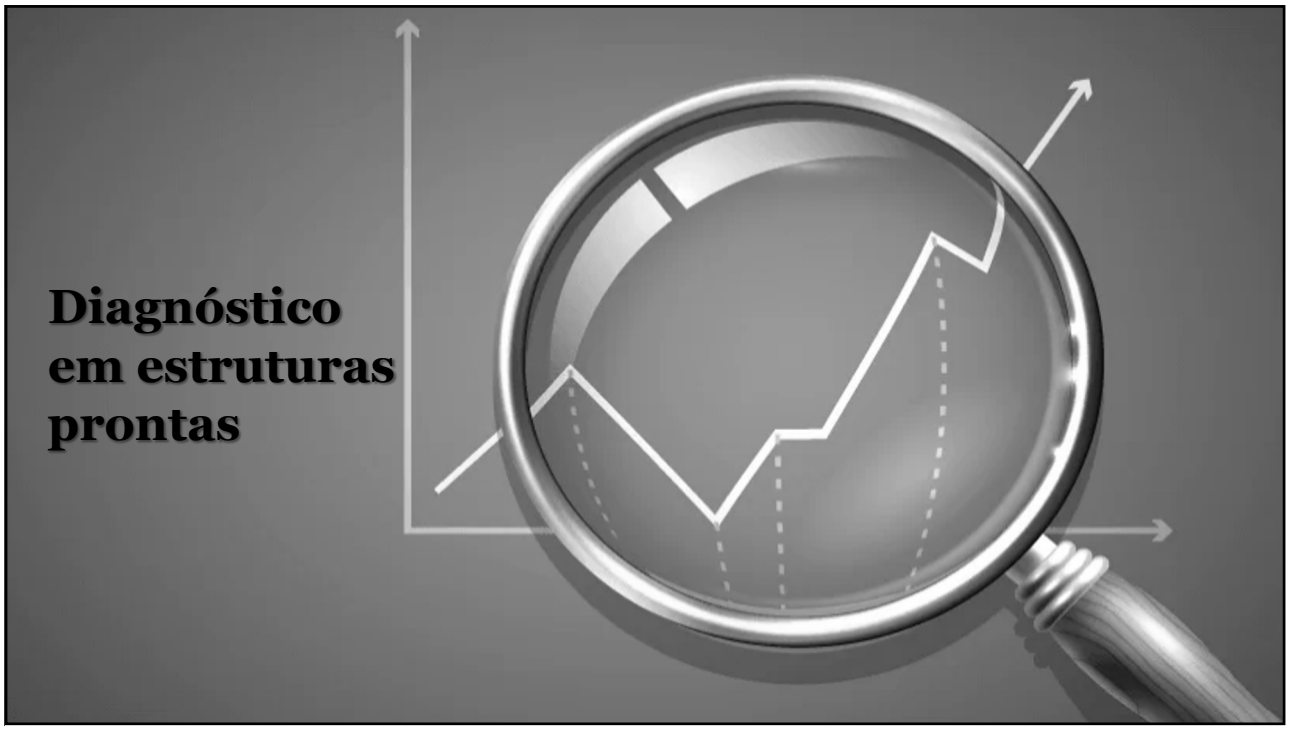
Método de barras adição mineral ASTM C 441 (6 meses)
Eficácia de adições ASTM C 1567
microsílica, metacaulim, cinzas volantes, escória

5. Impermeabilização

silicone, epóxi, poliuretano, cimento+latex, betume, drenar, etc.

acervo de Paulo Helene

57



58

Passo 1. Inspeção visual

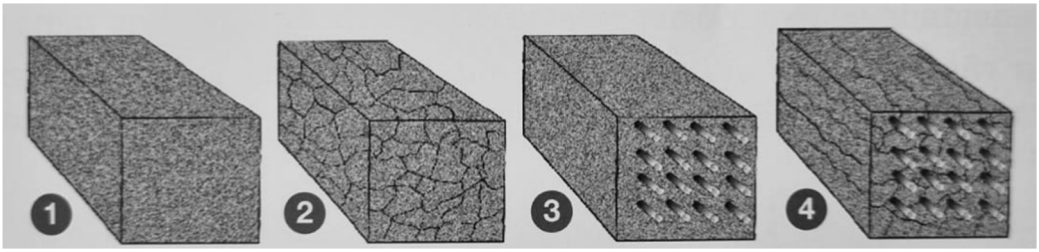
- Ocorrência de fisuras (extensão, abertura, etc);
- Movimentação de juntas/mal funcionamento de equipamentos;
- Alterações de cor e presença de produtos na superfície do concreto (lixiviados).

Fonte: Prática recomendada IBRACON: Inspeção de estruturas de concreto visando avaliar manifestações da reação álcali-agregado (RAA) e etringita tardia (DEF): diagnóstico de campo e de laboratório

59

Análise visual das fissuras

Influência da presença de armadura



Dormentes

Fonte: Prática recomendada IBRACON: Inspeção de estruturas de concreto visando avaliar manifestações da reação álcali-agregado (RAA) e etringita tardia (DEF): diagnóstico de campo e de laboratório

60

Passo 2. Extração de amostras

Extração de testemunhos e retirada de fragmentos do concreto

61

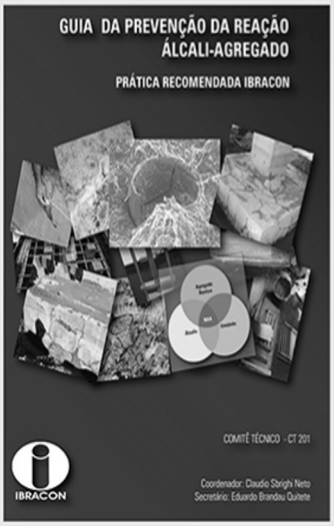
Passo 3. Ensaios e análises

- ✓ Análises petrográficas: identificação macro e microscópica dos produtos da reação;
- ✓ Microscopia eletrônica de varredura + Espectometria por energia dispersiva de Raios X (EDS) → análise qualitativa e quantitativa dos componentes químicos;
- ✓ Resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade;
- ✓ Reconstituição de traço → estimativa do consumo de cimento;
- ✓ DRI – Índice de deterioração
- ✓ SDT – Stiffness Damage Test (ensaio de verificação dos danos causados à rigidez do material)
- ✓ Verificação da expansão residual (barra de argamassa, LCPC nº 67)

Fonte: Prática recomendada IBRACON: Inspeção de estruturas de concreto visando avaliar manifestações da reação álcali-agregado (RAA) e etringita tardia (DEF): diagnóstico de campo e de laboratório

62

Guia de Prevenção da Reação Álcali-agregado



A publicação em e-book e edição impressa será lançada no 60º Congresso Brasileiro do Concreto às 16 horas do dia 19 de setembro próximo, em Foz do Iguaçu (PR).

Essa atividade sucedeu uma contribuição anterior do CT-201, que ofereceu ao CB18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados da ABNT sete textos-base, elaborados pelo mesmos especialistas e que deram os subsídios técnicos para as novas normas ABNT NBR 15577, partes 1 a 7, sobre RAA lançadas pela ABNT, em julho passado.

Está na agenda do CT-201 a elaboração de outra Prática Recomendada ligada ao tema, que abordará os diagnósticos da ocorrência de RAA em campo e em condições laboratoriais.

PATROCÍNIO

EMBU

63

programa MASTER PEC IBRACON

NQCP NÚCLEO DE QUALIFICAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL IBRACON

OBRIGADO!

PhD Engenharia

"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

www.concretophd.com.br
www.phd.eng.br

11.2501.4822 / 23 11.9.5045.4940

64